

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11)



EP 0 783 201 B1

(12)

## FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
15.03.2000 Bulletin 2000/11

(51) Int Cl.7: H02K 1/16, H02P 7/628,  
H02P 7/63, H02P 6/08

(21) Numéro de dépôt: 96402926.8

(22) Date de dépôt: 31.12.1996

(54) **Moteur électrique de type synchrone à aimants permanents et véhicule comportant un tel moteur**

Elektromotor des Synchrontyps mit Permanentmagneten und mit einem solchen Motor ausgestattetes Fahrzeug

Synchronous type electric motor and vehicle equipped with such a motor

(84) Etats contractants désignés:  
DE FR IT

(30) Priorité: 04.01.1996 FR 9600044

(43) Date de publication de la demande:  
09.07.1997 Bulletin 1997/28

(73) Titulaire: THOMSON-CSF  
75008 Paris (FR)

(72) Inventeur: Biais, François, Thomson-CSF, SCPI  
94117 Arcueil Cedex (FR)

(74) Mandataire: Simonnet, Christine et al  
Thomson-CSF Propriété Intellectuelle,  
13, Avenue du Président Salvador Allende  
94117 Arcueil Cédex (FR)

(56) Documents cités:

FR-A- 2 664 837 US-A- 4 814 677  
US-A- 5 168 204

- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 255 (E-210), 12 Novembre 1983 & JP 58 141656 A (TOKYO SHIBAURA DENKI KK), 23 Août 1983,
- IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, vol. 26, no. 1, Janvier 1990 - Février 1990, NEW YORK, US, pages 143-150, XP002015196 SALMON ET AL.: "A Split-Wound Induction Motor Design to Improve the Reliability of PWM Inverter Drives"

EP 0 783 201 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**

[0001] L'invention est relative à un véhicule à moteur électrique de traction et à un moteur électrique.

[0002] Elle concerne plus particulièrement un véhicule tirant son énergie d'une batterie d'accumulateurs alimentant le moteur de traction par l'intermédiaire d'un onduleur, ce moteur électrique étant du type synchrone à aimants permanents.

[0003] Un tel système de traction répond en général aux exigences imposées pour la réalisation d'une voiture électrique de grande diffusion, à savoir : un coût modéré, un poids et des dimensions réduits et un rendement optimum.

[0004] On rappelle ici qu'un moteur synchrone à aimants permanents, tel que décrit par exemple dans le document US-A-4 814 677, comporte, d'une part, un rotor présentant un ou plusieurs aimants permanents et, d'autre part, un stator bobiné comprenant en général trois phases alimentées chacune par un courant alternatif. Les courants de ces trois phases sont déphasés de 120° les uns par rapport aux autres. Ils engendrent un champ tournant qui entraîne la rotation du rotor en synchronisme avec la rotation de ce champ.

[0005] Les courants alternatifs des phases du stator sont produits par un onduleur comprenant un nombre de paires d'interrupteurs commandés égal au nombre de phases du stator. Dans chaque paire, les interrupteurs sont en série et chaque paire d'interrupteurs en série est en parallèle sur la batterie d'accumulateurs. Le point commun à deux interrupteurs commandés en série est relié à la phase du stator associée à la paire d'interrupteurs.

[0006] La commande des interrupteurs est telle qu'à un instant donné, un seul interrupteur dans chaque paire est conducteur et, en valeur absolue, le courant dans une phase est égal à la somme des intensités des courants dans les deux autres phases (en cas de stator triphasé monté en étoile).

[0007] Pour obtenir une variation sinusoïdale des courants dans chaque phase, on divise chaque alternance de ce courant sinusoïdal souhaité en plusieurs séquences de durées égales. Le nombre de séquences est, par exemple, égal à 6. Au cours de chacune des séquences, l'intensité moyenne du courant dans l'interrupteur correspondant, et donc dans la phase associée, présente une valeur constante.

[0008] Pour un véhicule électrique, la commande doit, en général, être telle qu'à basse vitesse, par exemple de 0 à 2000 tours/minute, le couple fourni par le moteur soit sensiblement constant de façon à fournir au démarrage un couple important. Ensuite, à vitesse plus élevée, c'est la puissance qui reste constante.

[0009] Ces contraintes imposées au moteur entraînent, bien entendu, des contraintes pour l'onduleur et l'électronique de commande. Pour minimiser le coût et l'encombrement de l'onduleur, il est nécessaire de minimiser les contraintes appliquées à ce dernier.

[0010] A cet effet, il est préférable que l'onduleur fournit, dans toute la gamme de fonctionnement à puissance constante du moteur, une tension et un courant sensiblement constants. Cette exigence est incompatible avec les propriétés du moteur synchrone à aimants permanents. En effet, dans un tel moteur, la force électromotrice à vide est proportionnelle à la vitesse de rotation. Ainsi, quand la vitesse de rotation augmente, la force contre-électromotrice du moteur augmente. Il en résulte la nécessité d'augmenter la tension fournie par l'onduleur et donc de diminuer l'intensité du courant fourni (à puissance constante l'intensité du courant diminue quand la tension augmente).

[0011] Pour résoudre cette contradiction, les interrupteurs de l'onduleur sont commandés de façon telle que, lorsque le moteur est alimenté à puissance constante, la tension d'alimentation est maintenue sensiblement constante par le réglage, par rapport à la position du rotor, de la phase des intensités des courants statoriques.

[0012] Étant donné que la tension d'alimentation est la somme vectorielle de la force contre-électromotrice et de la tension aux bornes de l'impédance que constitue le moteur, on comprend que la valeur de cette tension dépende de l'amplitude et, surtout, de la phase du courant traversant l'impédance.

[0013] Le comportement du moteur synchrone et de son alimentation peut encore s'expliquer de la manière suivante : le contrôle, ou réglage, de la phase du courant statorique correspond au contrôle, ou réglage, du flux magnétique dans la machine. En effet, le courant présente deux composantes, l'une active permettant d'engendrer le couple, et l'autre défluxante, c'est-à-dire s'opposant directement au flux de l'aimant du rotor. Ainsi, à vitesse élevée, quand la force contre-électromotrice présente une valeur importante, la phase des courants statoriques est réglée de façon à créer une composante défluxante s'opposant à la force contre-électromotrice, ce qui permet de maintenir constante la tension.

[0014] L'efficacité du contrôle est d'autant plus importante que l'inductance présentée par le moteur est grande.

[0015] Selon l'invention, on confère une valeur importante à cette inductance en conférant une valeur importante à l'inductance de fuite.

[0016] La valeur de l'inductance de fuite est, dans le mode de réalisation préféré, au moins de l'ordre de 10%, et de préférence d'au moins 15%, de la valeur de l'inductance utile du moteur. Dans une réalisation, la valeur de l'inductance de fuite est de l'ordre du tiers de la valeur de l'inductance utile.

[0017] En plus de sa fonction d'augmentation de l'efficacité du contrôle, l'inductance de fuite de valeur élevée  $L_f$  - qui, du point de vue électrique, se trouve en série avec le moteur - constitue un filtre atténuant les courants harmoniques agissant sur le rotor.

[0018] De cette manière, on minimise l'échauffement

- que ledit rapport h/b est de l'ordre de 0,9.
5. Moteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le rotor comprend un aimant permanent à base de Néodyme, Fer et Bore.
10. Véhicule à moteur électrique de traction (10) de type synchrone présentant un rotor (69) à aimants permanents et un stator (61) bobiné alimenté par des courants alternatifs engendrant un champ tournant, un circuit de commande (21) agissant sur la phase ( $\psi$ ) du courant alternatif du stator, afin que la tension fournie au moteur reste constante quand la puissance fournie à ce moteur est constante, caractérisé en ce que pour optimiser l'efficacité du contrôle par la phase, le moteur présente une inductance de fuite (50) dont la valeur ( $L_f$ ) est au minimum de l'ordre de 10% et, de préférence, d'au moins 15% de la valeur (L) de son inductance principale (52).
15. Véhicule selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'alimentation des bobinages du stator est obtenue à l'aide d'un onduleur de tension (11) transformant en courant alternatif polyphasé la tension continue fournie par une batterie (12) d'accumulateurs, les interrupteurs (17, 18, 19) de cet onduleur étant commandés à partir d'un capteur (21) de la position du rotor, la phase ( $\psi$ ) du courant alternatif du stator étant déterminée par rapport au rotor.
20. Véhicule selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce qu'au démarrage, et jusqu'à une vitesse de rotation déterminée, le couple est constant (35) et au-delà de ladite vitesse déterminée, la puissance est constante (40).
25. Véhicule selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite vitesse déterminée est de l'ordre de 2000 tours par minute.
30. Véhicule selon la revendication 7, caractérisé en ce que la commande des interrupteurs de l'onduleur est telle que la fréquence des courants alternatifs alimentant le moteur soit adaptée au fonctionnement de ce dernier afin qu'il conserve en permanence le synchronisme.
35. Véhicule selon la revendication 6, caractérisé en ce que les interrupteurs commandés (17, 18, 19) sont des transistors ou des thyristors.
40. mindestens 10% und vorzugsweise mindestens 15% des Werts der Hauptinduktivität (52) beträgt, damit der Motor in einem Betriebsbereich bei konstanter Leistung mit einer im wesentlichen konstanten Speisespannung arbeiten kann.
45. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert der Leckinduktivität etwa ein Drittel des Werts der Hauptinduktivität bildet.
50. Motor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator (61) Nuten (60) zur Aufnahme der Spulen enthält, wobei jede dieser Nuten eine in den Luftspalt (66) mündende Öffnung (65) besitzt, die über eine Höhe h eine verringerte Breite besitzt, wobei das Verhältnis zwischen dieser Höhe h und der Breite b der Öffnung größer als 0,5 ist und die Höhe in radialer Richtung und die Breite b in tangentialer Richtung gemessen wird.
55. Motor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis h/b etwa 0,9 beträgt.
60. Motor nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor einen Dauermagneten auf der Basis von Neodym-Eisen-Bor besitzt.
65. Fahrzeug mit einem elektrischen Antriebsmotor (10) vom Synchrontyp, der einen Rotor (69) mit Dauermagneten und einen Stator (61) mit Wicklungen enthält, die mit ein Drehfeld erzeugenden Wechselströmen gespeist werden, wobei eine Steuerschaltung (21) auf die Phase ( $\psi$ ) des Wechselstroms des Stators einwirkt, um die dem Motor gelieferte Spannung konstantzuhalten, wenn die dem Motor gelieferte Leistung konstant ist, dadurch gekennzeichnet, daß zur Optimierung des Wirkungsgrads der Steuerung über die Phase der Motor eine Leckinduktivität (50) besitzt, deren Wert ( $L_f$ ) mindestens etwa 10% und vorzugsweise mindestens 15% des Werts (L) der Hauptinduktivität (52) beträgt.
70. Fahrzeug nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Speisung der Spulen des Stators mit Hilfe eines Spannungswechselrichters (11) erfolgt, der die von einer Akkumulatorenbatterie (12) gelieferte Gleichspannung in mehrphasige Wechselströme umwandelt, wobei die Schalter (17, 18, 19) des Wechselrichters ausgehend von einer Sonde (21) zur Erfassung der Drehstellung des Rotors gesteuert werden und die Phase ( $\psi$ ) des Wechselstroms des Stators bezüglich des Rotors bestimmt wird.
75. Fahrzeug nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß beim Anfahren und bis zu einer bestimmten Drehgeschwindigkeit das Drehmoment

#### Patentansprüche

1. Elektrischer Synchrongenerator, dessen Rotor mindestens einen Dauermagnet enthält und dessen Stator Wicklungen trägt, dadurch gekennzeichnet, daß er eine Leckinduktivität (50) besitzt, deren Wert ( $L_f$ )

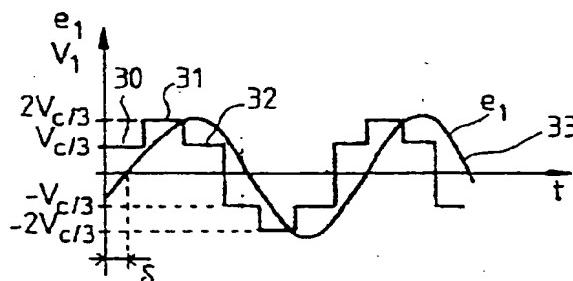
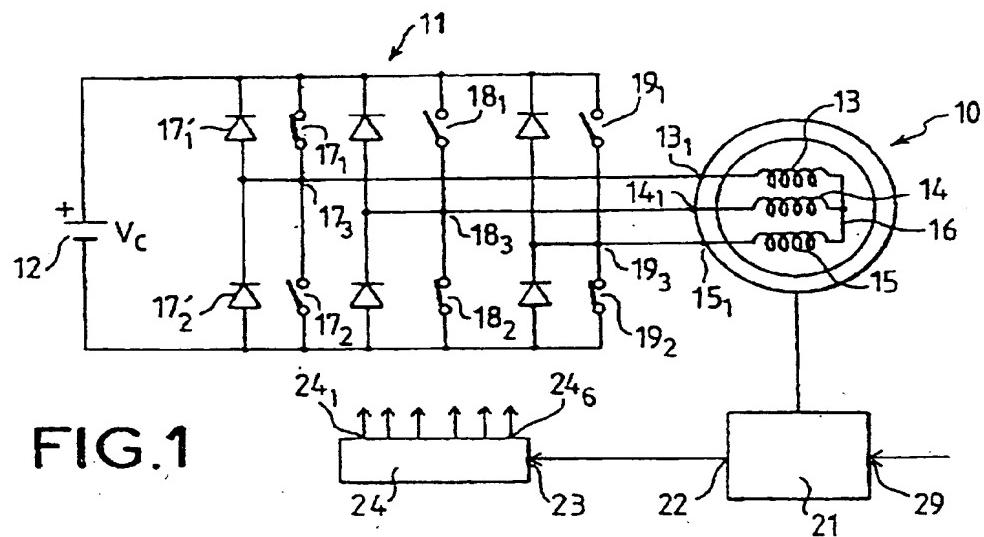


FIG. 2

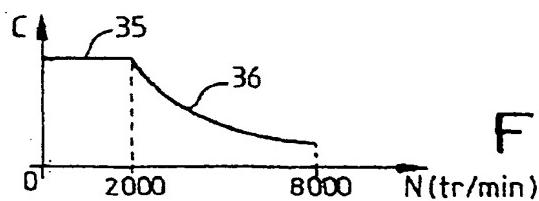


FIG. 3

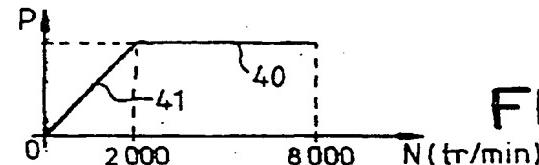


FIG. 4

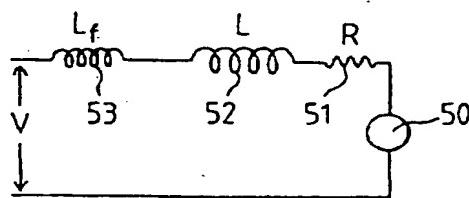


FIG. 5

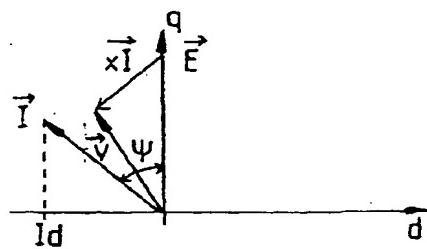


FIG. 6

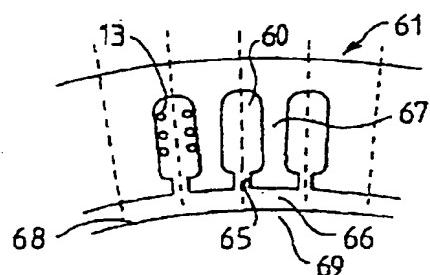


FIG. 7

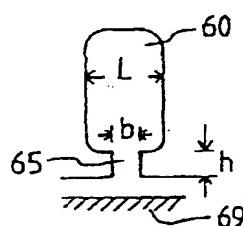


FIG. 8

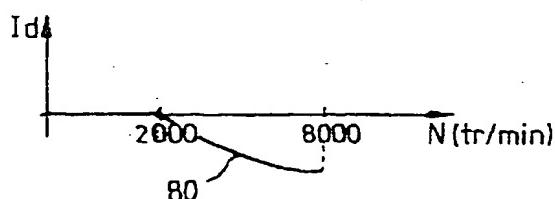


FIG. 9

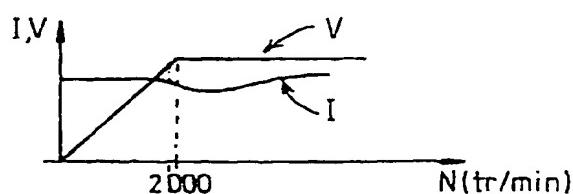


FIG. 10